

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/000336

International filing date: 14 January 2005 (14.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-007514
Filing date: 15 January 2004 (15.01.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 10 March 2005 (10.03.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

PCT/JP2005/000336

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

14.01.2005

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 1 月 1 5 日
Date of Application:

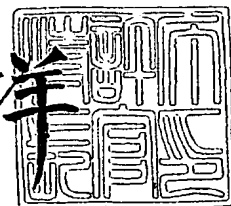
出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 0 7 5 1 4
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 4 - 0 0 7 5 1 4]

出 願 人 独立行政法人科学技術振興機構
Applicant(s): 国立大学法人東北大学

2 0 0 5 年 2 月 2 4 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川 洋



出証番号 出証特 2 0 0 5 - 3 0 1 4 2 6 3

【書類名】 特許願
【整理番号】 03JST79
【提出日】 平成16年 1月15日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 43/00
【発明者】
 【住所又は居所】 宮城県仙台市泉区桂 3-33-10
 【氏名】 大野 英男
【発明者】
 【住所又は居所】 宮城県仙台市青葉区中央4丁目7-25-707
 【氏名】 松倉 文▲礼▼
【発明者】
 【住所又は居所】 宮城県仙台市青葉区角五郎2丁目3-9-310
 【氏名】 千葉 大地
【発明者】
 【住所又は居所】 宮城県仙台市青葉区折立 3-13-13
 【氏名】 山ノ内 路彦
【特許出願人】
 【持分】 30/100
 【識別番号】 503360115
 【氏名又は名称】 独立行政法人科学技術振興機構
 【代表者】 沖村 憲樹
【特許出願人】
 【持分】 70/100
 【識別番号】 391012394
 【氏名又は名称】 東北大学長
【代理人】
 【識別番号】 100089635
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 清水 守
 【電話番号】 03-3219-5691
 【ファクシミリ番号】 03-3219-5693
【持分の割合】 30/100
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 012128
 【納付金額】 6,300円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 0315991

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

互いに反平行の磁化方向を持つ第 1 の磁性体と第 2 の磁性体と、該第 1 の磁性体と第 2 の磁性体に挟まれた第 3 の磁性体の微小接合を有し、該微小接合界面を横切る電流を流すことにより、該電流と磁壁との相互作用により電流方向もしくは逆方向に磁壁を移動させ、素子の磁化方向を制御することを特徴とする電流注入磁壁移動素子。

【請求項 2】

請求項 1 記載の電流注入磁壁移動素子において、前記磁性体が磁性半導体であることを特徴とする電流注入磁壁移動素子。

【請求項 3】

請求項 2 記載の電流注入磁壁移動素子において、前記磁性半導体が (Ga, Mn) As からなる強磁性半導体であることを特徴とする電流注入磁壁移動素子。

【請求項 4】

請求項 2 記載の電流注入磁壁移動素子において、前記磁性半導体が (In, Mn) As からなる強磁性半導体であることを特徴とする電流注入磁壁移動素子。

【請求項 5】

請求項 1 から 4 記載のいずれか一項記載の電流注入磁壁移動素子において、前記電流がパルス電流であることを特徴とする電流注入磁壁移動素子。

【請求項 6】

請求項 5 記載の電流注入磁壁移動素子において、前記パルス電流の電流密度が $10^4 - 10^7 \text{ A/cm}^2$ であることを特徴とする電流注入磁壁移動素子。

【書類名】明細書

【発明の名称】電流注入磁壁移動素子

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁性半導体素子に係り、特に、電流注入磁壁移動素子に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、記憶媒体等に利用される磁性体の磁化反転には、外部磁場の印加が必要とされてきた。

【特許文献1】特開2003-272114号公報

【特許文献2】特開2003-272112号公報

【非特許文献1】Sicence Vol. 301, pp. 943-945 (2003年8月15)。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

磁性体不揮発固体メモリの集積密度向上にはメモリ・セルの微細化が不可欠であるが、微細化による反磁場の寄与の増大は強磁性体の磁化反転に必要な外部磁場を増大し、磁場発生に要する消費電力の増大をもたらす。従って、微小磁性体の磁化反転手法の新しいスキームが求められている。

【0004】

本発明は、上記状況に鑑みて、強磁性体の磁化反転に必要な外部磁場をなくし、消費電力の省力化を図ることができる電流注入磁壁移動素子を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明は、上記目的を達成するために、

〔1〕電流注入磁壁移動素子であって、互いに反平行の磁化方向を持つ第1の磁性体と第2の磁性体と、これらの第1の磁性体と第2の磁性体に挟まれた第3の磁性体の微小接合を有し、この微小接合界面を横切る電流を流すことにより、この電流と磁壁との相互作用により電流方向もしくは逆方向に磁壁を移動させ、素子の磁化方向を制御することを特徴とする。

【0006】

〔2〕上記〔1〕記載の電流注入磁壁移動素子において、前記磁性体が磁性半導体であることを特徴とする。

【0007】

〔3〕上記〔2〕記載の電流注入磁壁移動素子において、前記磁性半導体が(Ga, Mn)Asからなる強磁性半導体であることを特徴とする。

【0008】

〔4〕上記〔2〕記載の電流注入磁壁移動素子において、前記磁性半導体が(In, Mn)Asからなる強磁性半導体であることを特徴とする。

【0009】

〔5〕上記〔1〕から〔4〕記載のいずれか一項記載の電流注入磁壁移動素子において、前記電流がパルス電流であることを特徴とする。

【0010】

〔6〕上記〔5〕記載の電流注入磁壁移動素子において、前記パルス電流の電流密度が $10^4 - 10^7 \text{ A/cm}^2$ であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、磁性半導体素子の強磁性体の磁化反転に必要な外部磁場をなくし、消費電力の省力化を図ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

電流注入磁壁移動素子であって、反平行の磁化方向を持つ二つの磁性体1と2と、それらに挟まれた磁性体3の微小接合を有し、この微小接合界面を横切るパルス電流（電流密度が $10^4 - 10^7 \text{ A/cm}^2$ ）を流すことにより、このパルス電流と磁壁との相互作用により電流方向もしくは逆方向に磁壁を移動させ、素子の磁化方向を制御する。

【実施例】

【0013】

以下、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0014】

図1は本発明の電流注入磁壁移動素子の模式図である。

【0015】

この図において、1は第1の磁性体、2はその第1の磁性体1と反平行の磁化方向をもつ第2の磁性体、3は第1の磁性体1と第2の磁性体2に挟まれた第3の磁性体、4、5は電流源である。

【0016】

まず、反平行の磁化方向（図中矢印）を持つ二つの磁性体（第1の磁性体1と第2の磁性体2）と、それらに挟まれた第3の磁性体3の微小接合を用意する。磁性体同士の接合は、層状に形成しても素子面内に接合を形成してもよい。また、磁性体1-3は同材料を用いても、異なる材料を用いてもよい。但し、第1の磁性体1と第2の磁性体2の磁化方向は反平行である必要があるので、磁場中成膜等によって反平行の磁化をあらかじめ作り込むか、第1の磁性体1と第2の磁性体2の保磁力差を利用して、成膜後に外部磁場により反平行の磁化を用意する。外部磁場により反平行状態を用意する際、第1の磁性体1と第2の磁性体2が異種材料の場合は元々の材料自体の保磁力差を利用可能であるが、同種材料の場合はスピンバルブ構造で使われているようなピン層を用いる、形状差をつけて形状異方性を用いる、膜厚を変える、材料が磁性半導体の場合は外部電界を加えるなど、様々な手法により第1の磁性体1と第2の磁性体2に保磁力差をつけることが可能である。

【0017】

第1の磁性体1と第2の磁性体2の磁化が反平行であるためには、二つの磁性体1と2との間のどこかに磁壁が存在しなければならない。そこで、その磁壁が第1の磁性体1と第3の磁性体3の接合界面及び第2の磁性体2と第3の磁性体3の接合界面に位置し易くなるようにする。これは、（1）第3の磁性体3の断面積を減らして第1の磁性体1、第2の磁性体2内より第3の磁性体3内の磁壁形成によるエネルギー損を減らす、（2）第3の磁性体3に第1の磁性体1、第2の磁性体2より磁化の小さい異種材料、もしくは外部電界の印加等により磁化を小さくした同種材料を用いて第1の磁性体1、第2の磁性体2内より第3の磁性体3内の磁壁形成によるエネルギー損を減らす、（3）第1の磁性体1と第3の磁性体3及び第2の磁性体2と第3の磁性体3の接合界面にくびれを設け、くびれ位置に磁壁がトラップされやすくする、等の手法を採用することにより実現できる。

【0018】

上述したような素子に接合界面を横切る（パルス）電流（電流密度 $10^4 - 10^7 \text{ A/cm}^2$ ）を流した場合、電流と磁壁との相互作用により電流方向もしくは逆方向に磁壁を移動させることが可能であるので（電流方向と磁壁移動方向の相対関係は電流と磁化の相互作用の符号に依存するため材料に依存）、元々第1の磁性体1と第3の磁性体3の界面にあった磁壁を第2の磁性体2と第3の磁性体3の界面に移動でき、電流の向きを変えることによってその逆も可能となる。つまり、図1（a）と図1（b）に示すように、電流の向きによって第3の磁性体3の磁化方向の制御が可能となる。第3の磁性体3の磁化状態は、第1の磁性体1と第3の磁性体3の界面に磁壁がある場合と第2の磁性体2と第3の磁性体3の界面に磁壁がある場合に生じる素子の抵抗差を用いて、電流注入端子と同じ端子に磁壁が移動しない程度の微小電流（ $< 10^4 \text{ A/cm}^2$ ）を流して素子抵抗を計測することで読み出し可能である。第1の磁性体1と第3の磁性体3に全く同じ材料を用い

た場合、この抵抗差は生じ難いが、第1の磁性体1と第3の磁性体3及び第2の磁性体2と第3の磁性体3の接合面積に差をつける、もしくは接合界面に設けるくびれの大きさを変える等、構造を非対称にすることにより、磁壁位置依存の素子抵抗変化機能を付加することが可能である。さらに、非磁性層を介して磁化方向が固定された強磁性層を付加し、巨大磁気抵抗効果もしくはトンネル磁気抵抗効果を用いることで出力を上げた読み出しも可能となる。また、第3の磁性体3に計測用の端子を設け、異常ホール効果や面内ホール効果等の横電流磁気効果によっても第3の磁性体3内の磁化状態の計測が可能である。

【0019】

このように、この電流注入磁壁移動素子では外部磁場を印加することなく、電気的な磁性体の磁化方向の制御、読み出しが可能であるので、メモリ素子を含め広範囲な応用が可能である。

【0020】

次に、本発明の主要部となる電流注入磁壁移動の実際の計測例について説明する。

【0021】

図2は本発明の実施例を示す電流注入磁壁移動素子（試料）の構成図であり、図2（a）はその電流注入磁壁移動素子の構造図、図2（b）はその素子の写真を示す図、図2（c）は図2（b）の断面図である。

【0022】

図2（a）において、11はGaAs基板、12はそのGaAs基板11上に形成されるGaAs層（500Å）、13はそのGaAs層12上に形成される（In_{0.2}Ga_{0.8}）As層（5000Å）、14はその（In_{0.2}Ga_{0.8}）As層13上に形成される、強磁性半導体である（Ga_{0.967}Mn_{0.033}）As層（200Å）である。

【0023】

このように、電流注入磁壁移動素子は面直容易軸を持つ強磁性半導体（Ga, Mn）Asから作製した〔（In, Mn）As層を代わりに用いてもよい〕。（Ga, Mn）As層14の場合は試料表面の一部をエッチングすることで、（In, Mn）As層の場合は、表面の一部に絶縁膜を介して金属電極を蒸着し外部電界を印加すること（上記非特許文献1）で、面内に保磁力の違う同種磁性体の接合を形成する。

【0024】

両方の材料に対する作用効果は同様であるので、ここでは、図2に示すように、（Ga, Mn）As層に対する構造を中心に説明する。

【0025】

この電流注入磁壁移動素子はホール・バー形状を持ち、図2（c）に示すように、右半分を略50Åエッチングした。図2（a）の（Ga, Mn）As層14の強磁性転移温度が60K程度であるため、計測はそれ以下の温度で行った。まず、左半分と右半分の（Ga, Mn）As層14の保磁力差を利用して、磁化の反平行配置を形成した。

【0026】

これは、図3（a）に示すように、Kerr効果偏光顕微鏡のコントラストの差によって観察可能であるが、図2（b）に示されたホール端子対（a）、（b）と（c）、（d）で異常ホール効果の符号が反転していることから電気的にも計測可能である。図3（b）に示すように、電流注入磁壁移動素子の下から上にパルス電流を印加した場合、磁壁が電流と逆方向に移動し、電流注入磁壁移動素子下半分の磁化が反転している様子が分かる。これは、四対のホール端子電圧の符号がすべて同じになることから電気的にも計測可能である。パルス電流を逆に素子の上から下に印加した場合、接合面に磁壁がトラップされ、電流注入磁壁移動素子の磁区構造に変化は現れない。

【0027】

図4は図2と同様の構造を持つ（Ga, Mn）As層に二段階の段差をつけて形成した電流注入磁壁移動素子（強磁性転移温度100K前後）の模式図である。

【0028】

この図において、21は第1の磁性体（図1の第1の磁性体1に対応）、22は第2の

磁性体（図 1 の第 2 の磁性体 2 に対応）、23 は第 3 の磁性体（図 1 の第 3 の磁性体 3 に対応）であり、ここでは、それぞれの磁性体の幅は一樣であり、それらの高さは、第 1 の磁性体 21 の高さ > 第 2 の磁性体 22 の高さ > 第 3 の磁性体 23 の高さの順となっており、二段階の段差が形成されている。24 は第 1 の磁性体 21 に形成される端子対、25 は第 3 の磁性体 23 に形成される端子対、26 は第 2 の磁性体 22 に形成される端子対、矢印は電流の方向である。

【0029】

外部磁場を用い、図 1 の第 1 の磁性体 1 と第 2 の磁性体 2 に相当する両端部分の磁化を反平行初期配置を用意した。これにより、第 3 の磁性体 23 に相当する中心部分の磁化を、第 1 の磁性体 21 の磁化と平行の状態から第 2 の磁性体 22 の磁化と平行の状態へ、またはその逆へと、パルス電流印加方向により可逆的に自在に操ることが可能である。これを電氣的に異常ホール効果〔図 4 の第 3 の磁性体 23 部分の端子対 25〕で観測した例が図 5 である。図 5 の例ではパルス電流値 $I_{\text{pulse}} = 350 \mu\text{A}$ （電流密度 10^5 A/cm^2 程度に相当）、パルス幅 0.1 秒で、温度 83 K、外部磁場はゼロにおいて測定した。

【0030】

この図 5 に示すように、図 4 の第 3 の磁性体 23 部分のホール端子対 25 により、異常ホール効果を用いて、第 3 の磁性体 23 の磁化方向を検出する。正負の電流パルスを印加することで、ホール電圧の符号が反転することから、図 3 の磁化方向を電流印加により可逆的に自在に制御することができ、かつその方向の読み出しが可能であることが分かる。

【0031】

なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づき種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。

【産業上の利用可能性】

【0032】

本発明の電流注入磁壁移動素子は、外部磁場を印加することなく、電氣的な磁性体の磁化方向の制御、読み出しが可能であるので、メモリ素子を含め広範囲な応用が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図 1】本発明の電流注入磁壁移動素子の模式図である。

【図 2】本発明の実施例を示す電流注入磁壁移動素子（試料）の構成図である。

【図 3】Kerr 効果偏光顕微鏡によって観察した電流注入磁壁移動素子（試料）の磁区構造を示す図である。

【図 4】図 2 と同様の構造を持つ $(\text{Ga}, \text{Mn})\text{As}$ 層に二段階の段差をつけて形成した電流注入磁壁移動素子（強磁性転移温度 100 K 前後）の模式図である。

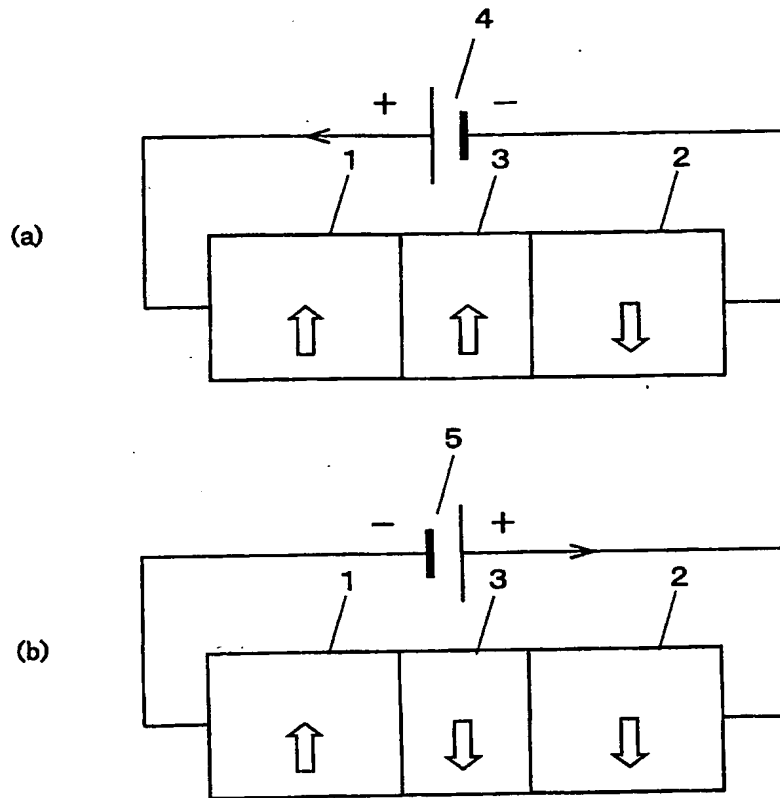
【図 5】本発明にかかる異常ホール効果〔図 4 の第 3 の磁性体 23 部分の端子対 25〕で観測した例を示す図である。

【符号の説明】

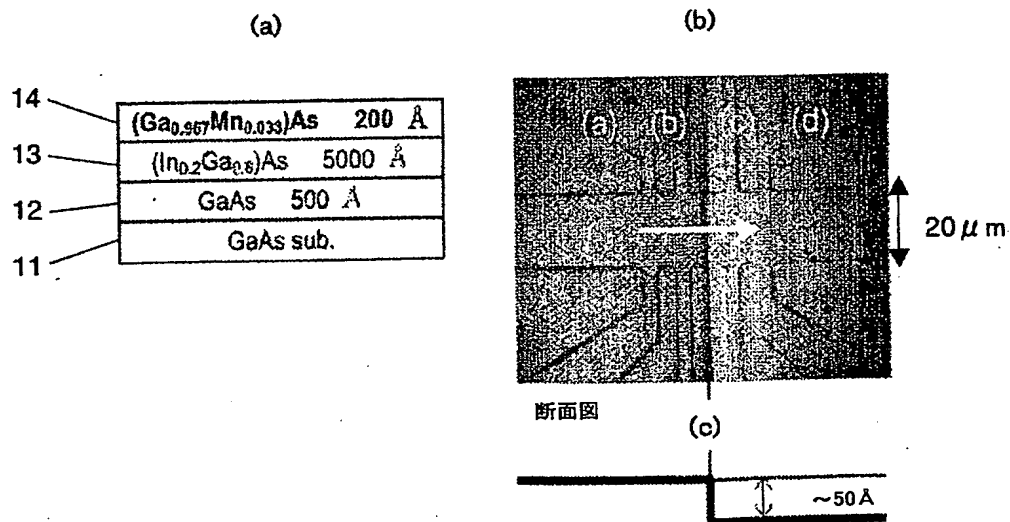
【0034】

- | | |
|-------|---|
| 1, 21 | 第 1 の磁性体 |
| 2, 22 | 第 2 の磁性体 |
| 3, 23 | 第 3 の磁性体 |
| 4, 5 | 電流源 |
| 11 | GaAs 基板 |
| 12 | GaAs 層 |
| 13 | $(\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})\text{As}$ 層 |
| 14 | 強磁性半導体である $(\text{Ga}_{0.967}\text{Mn}_{0.033})\text{As}$ 層 |
| 24 | 第 1 の磁性体に形成される端子対 |
| 25 | 第 3 の磁性体に形成される端子対 |
| 26 | 第 2 の磁性体に形成される端子対 |

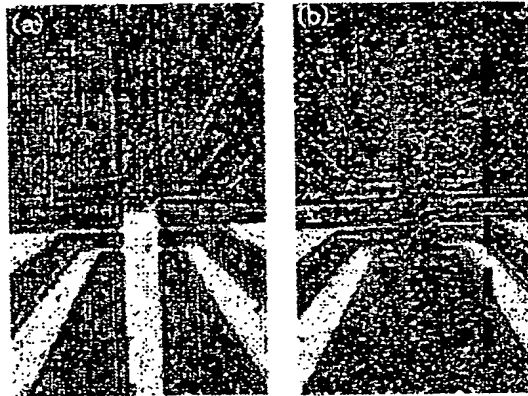
【書類名】図面
【図 1】



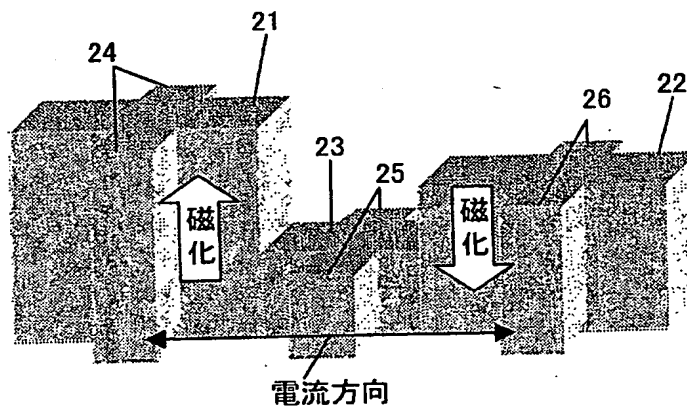
【図 2】



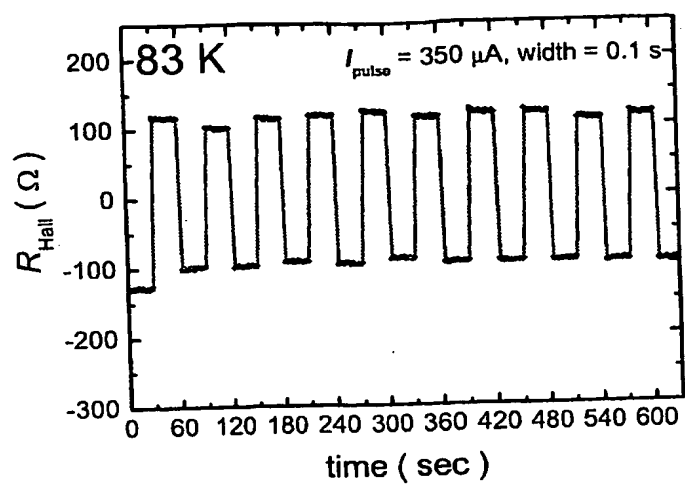
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 強磁性体の磁化反転に必要な外部磁場をなくし、消費電力の省力化を図ることができる電流注入磁壁移動素子を提供する

【解決手段】 電流注入磁壁移動素子であって、反平行の磁化方向を持つ二つの磁性体（第1の磁性体1と第2の磁性体2）と、それらに挟まれた磁性体3の微小接合を有し、この微小接合界面を横切るパルス電流（電流密度が、 $10^4 - 10^7 \text{ A/cm}^2$ ）を流すことにより、このパルス電流と磁壁との相互作用により電流方向もしくは逆方向に磁壁を移動させ、素子の磁化方向を制御する。

【選択図】 図1

【書類名】 出願人名義変更届 (一般承継)
【提出日】 平成16年 6月18日
【あて先】 特許庁長官 殿
【事件の表示】
【出願番号】 特願2004- 7514
【承継人】
【識別番号】 504157024
【住所又は居所】 宮城県仙台市青葉区片平2丁目1-1
【氏名又は名称】 国立大学法人東北大学
【代表者】 総長 吉本 高志
【連絡先】 研究協力部産学連携課知的財産係 佐藤 剛
電話番号 022-217-4839
【その他】 15文科会第1999号に基づく承継

特願 2004-007514

出願人履歴情報

識別番号

[503360115]

1. 変更年月日

[変更理由]

住所
氏名

2003年10月 1日

新規登録

埼玉県川口市本町4丁目1番8号
独立行政法人 科学技術振興機構

2. 変更年月日

[変更理由]

住所
氏名

2004年 4月 1日

名称変更

埼玉県川口市本町4丁目1番8号
独立行政法人科学技術振興機構

特願2004-007514

出願人履歴情報

識別番号

[391012394]

1. 変更年月日

1991年 1月22日

[変更理由]

新規登録

住所

宮城県仙台市青葉区片平2丁目1番1号

氏名

東北大学長

特願2004-007514

出願人履歴情報

識別番号

[504157024]

1. 変更年月日

2004年 4月20日

[変更理由]

新規登録

住所

宮城県仙台市青葉区片平2丁目1番1号

氏名

国立大学法人東北大学